

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-61961

(43)公開日 平成5年(1993)3月12日

(51)Int.Cl. <sup>4</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 15/82	3 4 0	8125-5L		
	3 5 0	8125-5L		

審査請求 未請求 請求項の数10(全 13 頁)

(21)出願番号 特願平3-220443

(22)出願日 平成3年(1991)8月30日

(71)出願人 00005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 安生 健一

茨城県日立市久慈町4028番地 株式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 宇佐美 芳明

茨城県日立市久慈町4028番地 株式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 武内 良三

茨城県日立市久慈町4028番地 株式会社日立製作所日立研究所内

(74)代理人 弁理士 富田 和子

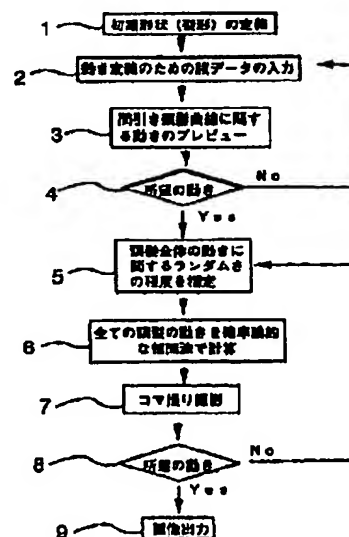
(54)【発明の名称】 コンピュータアニメーションの対話処理方式及び装置

(57)【要約】

【構成】外力により変形する頭髮を表示するコンピュータアニメーションの対話処理方式であって、(a)頭髮の一本一本を弾性体とみなし、(b)頭髮の初期形状を定め、(c)該弾性体に作用する外力および頭髮の属性を利用者が定義し、(d)代表的な本数の頭髮について、弾性体の変形を表わす力学方程式を外力および属性に基づいて解くことにより、頭髮の初期形状からの経時的な移動位置を求め、(e)その結果から得られるアニメーションのプレビューを行い、(f)所望の結果を得られるまで(c)から(e)までの処理を繰り返し、(g)得られた代表的な頭髮曲線の動きを補間して残りの頭髮を生成する。

【効果】厳密な物理シミュレーションに依存せず、対話処理と高速アルゴリズムを併用することで、効率よく、リアリスティックな頭髮や羽毛のアニメーションが作成できる。

頭髮の動き作成手順の基本フロー(図1)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】外力により変形する頭髮を表示するコンピュータアニメーションの対話処理方式であって、

(a) 頭髮の一本一本を弾性体とみなし、

(b) 頭髮の初期形状を定め、

(c) 前記弾性体に作用する外力および頭髮の属性を利用者が定義し、

(d) 代表的な本数の頭髮について、弾性体の変形を表わす力学方程式を前記外力および属性に基づいて解くことにより、前記頭髮の初期形状からの経時的な移動位置を求め、

(e) その結果から得られるアニメーションのプレビューを行い、

(f) 所望の結果を得られるまで(c)から(e)までの処理を繰り返し、

(g) 得られた代表的な頭髮曲線の動きを補間して残りの頭髮を生成することを特徴とするコンピュータアニメーションの対話処理方式。

【請求項2】頭髮一本に対する外力には、他の頭髮の影響を含めないようにしたことを特徴とする請求項1記載のコンピュータアニメーションの対話処理方式。

【請求項3】前記他の頭髮の影響の代わりに、各頭髮について仮想的な外力を与えることを特徴とする請求項2記載のコンピュータアニメーションの対話処理方式。

【請求項4】前記代表的な頭髮曲線の補間には、利用者がランダム性を与えることを特徴とする請求項1記載のコンピュータアニメーションの対話処理方式。

【請求項5】前記外力には、重力ベクトルを含み、該重力ベクトルとして任意のベクトルを与えることを特徴とする請求項1記載のコンピュータアニメーションの対話処理方式。

【請求項6】前記外力には、表示される対象物体の動きに伴って生じる外力を含むことを特徴とする請求項1記載のコンピュータアニメーションの対話処理方式。

【請求項7】前記属性には、頭髮の弾性変形エネルギーの密度を含み、該弾性変形エネルギーの密度の大きさを、現実の頭髮についての実測値と無関係に与えることを特徴とする請求項1記載のコンピュータアニメーションの対話処理方式。

【請求項8】外力により変形する頭髮を表示するコンピュータアニメーションの対話処理装置であって、画像表示用ディスプレイと、

$$\partial(\rho \partial r / \partial t) / \partial t + \gamma \partial r / \partial t + \delta E(r) \delta / r = f(r, t) \quad \cdots (数1)$$

である。ここに、 $r = r(a, t)$  は1次元パラメータ  $a$  と時間のパラメータ  $t$  との関数であり、曲線を表す。数1の左辺の  $\rho = \rho(a)$  及び  $\gamma = \gamma(a)$  はそれぞれ点  $a$  における曲線の密度及び減衰係数を表し、 $E(r)$  はポテンシャルエネルギーを、 $\delta E(r) / \delta r$  はその第一変分を表す。右辺の  $f = f(r, t)$  は外力項を表す。これは一本の曲線に関する方程式であるが、 $n$  本の頭髮を扱うに

前記画像表示用ディスプレイに表示する内容を規定するデータ、頭髮に作用する重力および風力を含む外的制約条件、および頭髮の材質を含む属性条件を入力する入力手段と、

代表的な本数の頭髮について頭髮曲線の外力による位置変化を求める計算手段と、

該手段により求められた頭髮曲線の位置変化をプレビューするプレビュー手段と、

前記代表的な本数の頭髮に対して他の頭髮を補間する補間手段と、

を備えたことを特徴とするコンピュータアニメーションの対話処理装置。

【請求項9】前記入力手段は、前記外的制約条件及び前記属性条件を対話的に入力しうることを特徴とする請求項8記載のコンピュータアニメーションの対話処理装置。

【請求項10】前記補間手段により補間された、各時刻の頭髮の様子をコマ撮りするコマ撮り手段をさらに設けたことを特徴とする請求項8記載のコンピュータアニメーションの対話処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、主にコンピュータグラフィックスのモデリング及びアニメーション技術に係り、特に人間の頭髮、あるいは動物の体毛や毛髪の定義方法と、外力に伴う動きの表現方法に関する。

【0002】

【従来の技術】コンピュータアニメーションによって人間の頭髮の動きを実現した従来技術としては、電子情報通信学会技術研究報告第89巻 IE89-60「確率モデルによる頭髮の動きの表現」がある。この方法では、一本の曲線が一様な風力下で動く様子を実測し、これから得られる経験則をもとに、一様な風力下での全ての頭髮の動きを再現するものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】頭髮が外力に応じて動く様子は、原理的には、例えば頭髮一本一本を弾性体と見做し、その力学方程式をたてそれを解けば得られる。この場合、考慮すべき方程式は、次のオイラー・ラグランジュ方程式

【0004】

【数1】

は  $r = r_1, r_2, \dots, r_n$  に関する上記方程式を連立して解くことになる。その場合、特に頭髮同士の相互作用があるから、右辺の外力項  $f$  は  $r_1, r_2, \dots, r_n$  に依存して定まる値となり、しかも  $n$  は通常数万から十萬程度の値となるので、この方程式を連立して数値的に解くのは通常のグラフィックスワークステーションの処理能力からするとほとんど不可能である。従って、前述の

ような従来技術によって非常に制約された条件下でしかも簡易的な動きの表現が得られていたのである。

【0005】しかしながら、従来の技術では、所望の動きを得るためのパラメータ入力が必要でかつ多様な動きの表現を実現する方式は得られていない。先の従来技術では、モデルが簡易なため様な風力下での定常になびく様子しか得られないし、一方厳密に力学方程式を解くことは上述のように現実的ではない。

【0006】本発明の目的は、頭髮や動物の体毛などが、外力や材質に依存して動く様子を簡易な入力操作によってリアリティに再現するための表現方式を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明による、外力により変形する頭髮を表示するコンピュータアニメーションの対話処理方式は、(a) 頭髮の一本一本を弾性体とみなし、(b) 頭髮の初期形状を定め、(c) 前記弾性体に作用する外力および頭髮の属性を利用者が定義し、

(d) 代表的な本数の頭髮について、弾性体の変形を表わす力学方程式を前記外力および属性に基づいて解くことにより、前記頭髮の初期形状からの経時的な移動位置を求め、(e) その結果から得られるアニメーションのプレビューを行い、(f) 所望の結果を得られるまで(c)から(e)までの処理を繰り返し、(g) 得られた代表的な頭髮曲線の動きを補間して残りの頭髮を生成するようにしたものである。

【0008】また、本発明による、外力により変形する頭髮を表示するコンピュータアニメーションの対話処理装置は、画像表示用ディスプレイと、前記画像表示用ディスプレイに表示する内容を規定するデータ、頭髮に作用する重力および風力を含む外的制約条件、および頭髮の材質を含む属性条件を入力する入力手段と、代表的な本数の頭髮について頭髮曲線の外力による位置変化を求める計算手段と、該手段により求められた頭髮曲線の位置変化をプレビューするプレビュー手段と、前記代表的な本数の頭髮に対して他の頭髮を補間する補間手段とを備えたものである。

【0009】

【作用】本発明において、基本的には前記(数1)に基づいてシミュレーションをし、その結果に基づいて頭髮の曲線の集合の動きを実現する。先に述べたように、外

$$r = r(a, t) = (x(a, t), y(a, t), z(a, t)) \quad \dots (数2)$$

)で表されれば、

【数3】

【0014】

$$E(r) = \int K(a) \left\{ \left( \frac{d^2 x(a, t)}{da^2} \right)^2 + \left( \frac{d^2 y(a, t)}{da^2} \right)^2 + \left( \frac{d^2 z(a, t)}{da^2} \right)^2 \right\} da \quad \dots (数3)$$

となる。ここで、積分はパラメータaに関するものであり、簡単のために、曲線は、 $0 \leq a \leq 1$ で定義されているものとする。関数K(a)は、以下、曲率エネルギー係数とよぶことにする。また被積分関数の項に現われる

力項などは頭髮相互の影響を考慮すると複雑となり、また計算の負荷も甚大となる。そこで(1) 外力項や頭髮の属性などは利用者が人為的に定義してやり、(2) 代表的な数十本から数百本程度の頭髮についてのみ計算し、(3) その計算結果から得られるアニメーションのプレビューを行なう。所望の結果を得られるまで(1)から(3)までの操作を繰り返し、その後改めて全ての頭髮に関して計算する。その際には、先の力学方程式を計算し直さず、(1)から(3)までの処理で得られた代表的な頭髮曲線の動きを補間するアルゴリズムを用いて計算する。即ち、人為的に外力項や頭髮の属性を入力する手段と、代表的な頭髮曲線に関する動きのプレビュー機能の付与、及び高速な頭髮の動きの補間アルゴリズムを導入する。

【0010】人為的に外力項や頭髮の属性を入力する手段を設けることにより、外力項等の表現を簡潔にすることができ、従って先の力学方程式も数値的に計算可能なものとするができる。また高々数百本程度の代表的な頭髮曲線に関するプレビュー機能を設けることにより、所望の動きを得るための試行錯誤の回数を減じることが出来る。更に、頭髮全部の動きの計算は、上記代表的な頭髮曲線の計算結果に基づく補間アルゴリズムを導入することで高速化され、所望の動きを表すアニメーションが簡易かつ高速に得られる。

【0011】

【実施例】以下、本発明の実施例を図1により説明する。図1は本発明による頭髮の動き生成手順の基本フローを示すものである。まず始めに、人間の頭部の3次元CGモデルを定義し、更に頭髮の発生領域と髪形を定義する(図1の1)。次に頭髮の動きを計算するための諸データの初期値の入力を行なう(図1の2)。本実施例では、リアルな動きを得るために先の力学方程式(数1)を簡易化して解くという手段をとり、そのために必要なデータについて以下に説明する。

【0012】まず、簡単のために一本の曲線についての(数1)式をより具体的に述べる。ポテンシャルエネルギーの項E(r)は、空間曲線の弾性変形エネルギー、特に曲率の変化に伴うエネルギーのみを考慮するものとする。その場合、曲線の式が、

【0013】

【数2】

2次の導関数は変数aに関するもので、本来は偏微分の記号 $\partial$ を用いるべきだが、簡単のためにdとした。次に外力項f(r, t)は、例えば、重力g(r)と風力w(r, t)の場合を考えると、

【0015】

$$g(r) = \rho(a) G, \quad w(r, t) = f(r, t)$$

) の形で定義されているとして、

【0016】

$$f(r, t) = g(r) + w(r, t)$$

) となる。もちろん、風力以外の外力についても、数5による定式化で扱うことができる。例えば、体の動きに合わせて髪の毛がゆれる状況なども、 $w(r, t)$ を利用者が指定してやることで可能である。こうした外力の与え方に多様性を持たせるためには、必要なら実測して入力したり、あるいはデータベース化しておくといふ。

【0017】以上の条件下で利用者は初期のデータとして図2の22の(2)～(5)のもの、すなわち、曲線の密度 $\rho(a)$ 、曲率エネルギー計数 $K(a)$ 、重力ベクトル $G$ 、風力ベクトル場 $f(r, t)$ 、重力制御パラメータ $\phi$ (曲線ごとに値を変えるなら $\phi_k$ )を入力する。これらの入力データの中で、頭髮の物理的性質・風性に関するデータとして、曲率エネルギー関数 $K(a)$ がある。これは直感的には、頭髮の硬さ等を表現するものと考えられる。現実には頭髮の硬さが一様であるとする場合が多いが、そのときは場所(パラメータ $a$ の値)に依存せず、定数値を与える。また同様に現実的には頭髮の密度 $r(a)$ も $a$ の値に依存せず定数であり、重力ベクトル $G$ も場所に依存せず、定数値を入力する。風力はここではベクトル場 $f(r, t)$ を入力する形を取っているが、これは位置の座標値 $x, y, z$ と時間 $t$ の関数であり、利用者が一々指定するのは容易でない。そこ

$$f(r, t) = \phi g(r) + w(r, t)$$

ここで $\phi$ は、実定数で利用者が適当な値を入力する。例えば $\phi$ を1より大きな値とすると、重力の大きさが現実のものより大きくなることになり、頭髮の動きとしては、重々しくなり、頭髮同士の摩擦力が大きく動きにくい状態を再現できる。

$$f(r, t) = \phi_k g(r) + w(r, t)$$

と表せる。即ち、(数6)の係数 $\phi$ の値は、曲線毎に異なる値(上式(数7)の $\phi_k$ )とすることもできる。例えば、風が顔正面にあたっている場合、頭部の上の方に生えている頭髮群に対する $\phi_k$ の値としては、この部分の頭髮の動きの自由度が大きいので、1とする。首に近い部分は、それ以上の部分の頭髮の重みの影響を考慮して1より大きな値とする。どの程度の値にすればリアルな動きが得られるかは、数百本程度あるいはそれ以下の頭髮に関するシミュレーションを行なって、プレビューシステムを介してアニメーション画像を確認し(図1の3)、気に入った動きを得るまで試行錯誤をする(図1の4)。以上述べたように、どの頭髮曲線 $r_k$ に関する方程式(数1)も外力項に $r_k$ 以外の項を含まないようにしたので、扱う曲線全てについて並列に計算でき、しかも頭髮の本数を少なくしてプレビュー確認することで高速に処理できる。それゆえ本手法は、試行錯誤は避けら

【数4】

…(数4)

【数5】

…(数5)

で、典型的な風力ベクトル場のライブラリを用意しておいて、そこから選択するという方式とする。

【0018】前段階で髪形(したがって全ての頭髮曲線)は定義したので、つぎに頭髮の間引き数 $m$ (全頭髮のうち何パーセントの頭髮曲線について計算するか)を指定する。即ち一度に全ての頭髮に関して計算せずに、適当な数だけまびいて計算する。その際、頭髮の動きの表現を得るために、頭髮の長さは時間が経っても一定であるという制約条件下で、数1を解く。そのための計算機による数値解法としては、よく知られたラグランジュの未定乗数法等を用いればよい。 $n$ 本の曲線についてこの方程式を考えると、たとえ $n$ が高々数百としても、外力項に未知関数 $r_1, r_2, \dots, r_n$ を含むとすれば解くのが非常に困難となる。そこで頭髮の数百本程度の動きを表現するための補助手段として、外力項に他の頭髮曲線が依存しないように定義する方法を用いる。例えば外力としては、厳密には、頭髮同士の摩擦力・反発力等をも考慮すべきであるが、次のように利用者が仮想的な力として定義する。

【0019】

【数6】

…(数6)

【0020】(数6)は $k$ 番目の曲線 $r_k$ に関する方程式に関する外力項の定義であるとすれば、より詳しくは、

【0021】

【数7】

…(数7)

れないものの、その実質的な必要時間の意味ではかなり少なくできるために、所望のアニメーションを作成するための十分現実的な解決法を提供する。以上の例では、外力項の工夫について述べたが、頭髮の硬さなど材質の効果を得るための制御に関しては、 $E(r)$ の項を利用者がうまく定義することで、達成される。

【0022】次に以上のプレビューの結果を基に、頭髮の全曲線を描く。そのためには、上述のようにして間引かれた頭髮曲線のプレビューされた結果の動きを、その近傍の頭髮曲線の動きに、多少のランダム性を加味して伝播する。即ち後述する確率論的な補間をする。そのランダムさの程度 $\sigma$ は、数値として入力し(図1の5)、すべての頭髮の動きを計算する(図1の6)。次にコマ撮り撮影(図1の7)などを経て、最終アニメーションに近い精彩度のアニメーションを作り、所望の結果をえるまで、 $\sigma$ の値を対話的に入力する操作を繰り返し(図

1の8)した後、最終画像を作る(図1の9)。便宜上、以下ではプレビュー結果を得るために用いられる曲線をプレビュー曲線と呼ぶことにする。

【0023】次に、図1をより詳細に示した図2に添ってプレビュー曲線群の確率的な補間法について説明する。(数1)の方程式を解くうえでもまた頭髮曲線を表示するうえでも、各曲線は短い線分(図5の波線で示されたもの)のつながりとして表される。図2の21、22に示したように、プレビュー曲線群の間に発生させる補間曲線の本数はあらかじめ指定した頭髮密度(総本数)と間引きの程度(m本に一本の割合で、と指定して)から定まる。図4では、 $m=5$ の場合で、隣接するプレビュー曲線4本(図4の41)の発生点 $q_1, q_2, q_3, q_4$ を端点とする正方形の周上及び内部に合計21本の補間曲線の発生点(図4の42)がある。補間曲線といっても、初期形状は髪形の定義段階で定められているから、ここでは外力や属性の変化にともなうて動いた結果の移動位置を求めるのである。図5のように、補間曲線を線分列 $p_0 p_1, p_1 p_2, \dots, p_{n-1} p_n$ で表すとし、次の時間ステップでの端点列の標準的な位置 $p_0', p_1', \dots, p_n'$ を次のように定める。端点は固定だから $p_0' = p_0$ である。順次 $p_1'$ まで決まるとするとき、次の端点 $p_{111}'$ は、 $p_1' p_{111}'$ が $\sum_k d(q_0 k, p_0) q_1 q_{111}$ と平行になるように向きをきめ、 $p_1' p_{111}'$ の線分の長さは $p_1 p_{111}$ と変わらないから、端点 $p_{111}'$ の位置が確定する。なおここで $d(q, p)$ は、二点 $p, q$ 間の適当な距離を表す。例えば通常のユークリッド距離や、マンハッタン距離などでよい。次にこの標準的な位置と、ランダムさの程度 $\sigma$ (図2の25)をもとに、実際の端点の位置 $r_0', r_1', \dots, r_n'$ を決める。この $\sigma$ は、先の標準的な位置からどれほど遠ざかるかを規定する量(図4の43)で、発生点に近いほど小さな値を取るような端点の番号

$$\theta_k(n+1) - 2\theta_k(n) + \theta_k(n-1) = (\Delta\tau)^2 c_k F\theta \quad \dots (数8)$$

$$\phi_k(n+1) - 2\phi_k(n) + \phi_k(n-1) = (\Delta\tau)^2 d_k F\phi \quad \dots (数9)$$

ここで、 $F\theta, F\phi$ は、時刻 $t$ と頭髮の節点 $p_k$ の位置 $x$ との関数として与えられる外力場 $F(t, x)$ をそれぞれ図7及び図8に示した $\theta$ 平面及び $\phi$ 平面へ投影したカラー場である。また、 $c_k, d_k$ はいわゆる慣性モーメント

$$c_k = d_k = l_0 / k$$

ここで、利用者は定数 $l_0$ を入力するが、質量や頭髮一本の長さに比例して決まる値である。(数10)にて、これを $k$ で割っているのは、頭髮の末端ほどよく触れることを示している。

【0029】図7および図8を用いて、入力(または選択)された先の外力場 $F$ を基に $F\theta$ 及び $F\phi$ の決め方について述べる。

【0030】図7では、 $\theta$ 平面と $F\theta$ とを説明してい

1の関数 $\sigma = \sigma(1)$ である。末端、すなわち $l$ が大きい所では通常大きな値を取る。端点は固定だから先と同じく、 $r_0' = r_0$ である。順次 $r_1'$ まで決まるとするとき、次の実際の端点である $r_{111}'$ は軸 $p_1'$ に直交し、半径 $\sigma(1)$ で、中心が $p_1'$ の円板上の任意の一点として(乱数を用いて)定義される。これにより、すべての頭髮の位置が計算できる(図2の26)。コマ撮り以降の処理(図2の27、28、29)は既に述べたとおりである。

【0024】以上の実施例とは別の定式化による簡便な方法について、他の実施例を説明する。まず、頭髮一本一本は先の実施例と同じく、図5に示すような折線の集合として表わす。次の手順で計算することにより、外力が与えられたときの頭髮位置の時間変化を求めることができる。時刻 $t=0$ の時の頭髮の位置は入力されているものとする。次に、以下の手順によって機能的に $t=n\Delta\tau$ での位置情報から $t=(n+1)\Delta\tau$ における位置を決定することができる(ここで、 $\Delta\tau$ は時間の刻み幅である)。以下では、簡単のために時間を $n$ で述べることにする。

【0025】(1)  $k=1 \sim m$ 毎に(ここで $m$ は頭髮一本の折線の数)、根本から $k$ 番目の折線(図6の61)に対し、図6のように座標系を取って、 $y$ 軸(図6の62)の正方向と折線とのなす角 $\theta = \theta_k$ (同図63)、及びこの折線を $zx$ 平面に投影した線分(同図64)と $z$ 軸の正方向となす角 $\phi = \phi_k$ (同図65)を求める。ここでは、時刻 $n$ の角度に対し、 $\theta_k(n), \phi_k(n)$ と記す。

【0026】(2) 次に、以下に示す方程式を解いて、時刻 $n-1$ および $n$ における $\theta$ と $\phi$ の値を基に、時刻 $n+1$ における $\theta$ と $\phi$ の値を求める。

【0027】

ントの項に対応するが、ここでは簡単化して、 $k$ の値で決まる次の式とする。

【0028】

... (数10)

る。まず、 $\theta$ 平面とは、 $y$ 軸(図7の62)と当該線分 $p_{k-1} p_k$ を原点へ平行移動してできるベクトル $x_k$ (同図71)とが張る平面(同図72)のことである。この $\theta$ 平面上にあり、ベクトル $x_k$ に垂直で角度の値 $\theta$ が増える方向に向いた(図7では反時計回り)大きさ1のベクトル $v_\theta$ (同図73)に対し、先の外力 $F$ (同図74)との内積を取った値が $F\theta$ である。

【0031】図8では、 $\theta$ 平面と $F\phi$ とを説明する。 $\theta$

平面とは図の $z-x$ 平面(図8の81)のことである。ベクトル $x_k$ の $\phi$ 平面への射影ベクトル $x\phi$ (同図82)に垂直で、 $\phi$ 平面上にあって反時計回りに回転する向きを示す大きさ1のベクトル $V\phi$ (同図83)をまず求める。次に $F$ と $V\phi$ との内積をとり、その値を $F\phi$ とする。

$$R\theta = f(\theta_k(n) - \theta_{k-1}(n))$$

ここに、 $f$ は、差 $\theta_k(n) - \theta_{k-1}(n)$ の絶対値があるしきい値より大きいときは一定の値で、またこの値が十分0に近いときは0となるような関数である。これによって、線分が極端に曲がりそうなときは、外力を弱めるよう抗力を調節できる。

【0034】以上で(2)における計算処理方法の原理的説明を終るが、一つだけ例外処理がある。それは、 $\phi$ の値が0となる場合の処理である。この場合は、 $y$ 軸と当該線分ベクトルが同じ向きになってしまうので、先の $\theta$ 平面が定義できない。そこでこの場合は、 $y$ 軸と外力場ベクトル $F$ とで張られる平面を $\theta$ 平面とする。

【0035】(3)上記(2)のようにして求めた時刻 $n+1$ の値を求めたら、頭部に入り込まぬように各線分毎に頭部との干渉をチェックする(もし、頭髮が長く、体と触れる可能性のある場合は、当然、体とも干渉もチェックする。ここでは、簡単のため、頭部とのチェックについて述べるが、体との干渉チェックとその後の処理は頭部の場合のそれと同様である)。もし、(2)の方法で得られた線分が、頭部にぶつかる、ないしは内部に入ってしまう場合は、位置の修正を行なう。その修正方法は、例えば、先に本出願人が特願平3-116209号で提案した方法で対処することが可能である。

【0036】(4)以上述べた処理(1)、(2)、(3)をすべての頭髮につき繰返し計算すると、すべての頭髮の時刻 $n+1$ における位置が求められる。

【0037】以上の方法では、先の実施例と同様に頭髮同士の交差判定等は考慮していない。

【0038】なお、数8~数10に注意すると分かるように、当該頭髮を固定した上で、時刻 $n-1$ 、時刻 $n$ での位置情報から時刻 $n+1$ での位置情報のみならず、指定した時刻 $m$ まで( $m>n$ )の各時刻の位置が順次計算である。これにより、高速計算処理も可能である。

【0039】以上の各実施例を実現するシステム構成例を図3に示す。このシステムでは、コンピュータグラフィックスの表示や、以上説明してきた対話入力処理のガイダンスのためのディスプレイ(図3の31)がある。これは、用途によって複数あってもよい。種々のデータ・コマンド装置の起動・グラフィックスコマンドの発行等をキーボード等の入力編集装置(図3の32)で行なう。上述の力学方程式を解くことから画像データの生成までを計算機処理部(図3の33)が行なう。アニメー

【0032】なお、頭髮のやわらかさ等を考慮するには、 $F\theta$ (や $F\phi$ )の項のなかに抗力の項 $R\theta$ (や $R\phi$ )を加えればよい。例えば、 $R\theta$ はひとつ前の線分 $p_{k-1}$ と $p_{k-1}$ の角度 $\theta_{k-1}(n)$ と $\theta_k(n)$ との差の関数としてよい。

【0033】

…(数11)

ションプレビューや最終版アニメーション作成のためのコマンド装置(図3の34)もリンクする。さらに、例えば、最初の実施例における曲率エネルギー係数 $K$ (a)や風力ベクトル場 $f_l(r, t)$ 、ランダムさの程度を表わす関数 $\sigma$ など、利用者が指定するのが困難なものはライブラリ化しておき、データベースとして利用する(図3の35)ことで、効率よくアニメーションを作成することができる。

【0040】

【発明の効果】本発明によれば、人間の頭髮や動物の羽毛などの外力や材質に依存して定まる動きを、コンピュータグラフィックスの表現として、リアリスティックかつ容易に実現することができる。すなわち、厳密な物理シミュレーションに依存せず、対話処理と高速アルゴリズムを併用することで、効率よく、リアリスティックな頭髮や羽毛のアニメーションが作成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による頭髮モデルの動き生成手順の基本フローである。

【図2】本発明の一実施例に関する頭髮モデルの動き生成手順の基本フローである。

【図3】本発明を実現するためのコンピュータグラフィックスシステムの一構成例である。

【図4】本発明の一実施例における補間曲線の与え方を示す図である。

【図5】本発明の一実施例における頭髮曲線の折れ線近似方法を示す図である。

【図6】本発明の一実施例における球座標系のとりかたを示す図である。

【図7】本発明の一実施例における外力場のある平面上への投影の仕方を示す図である。

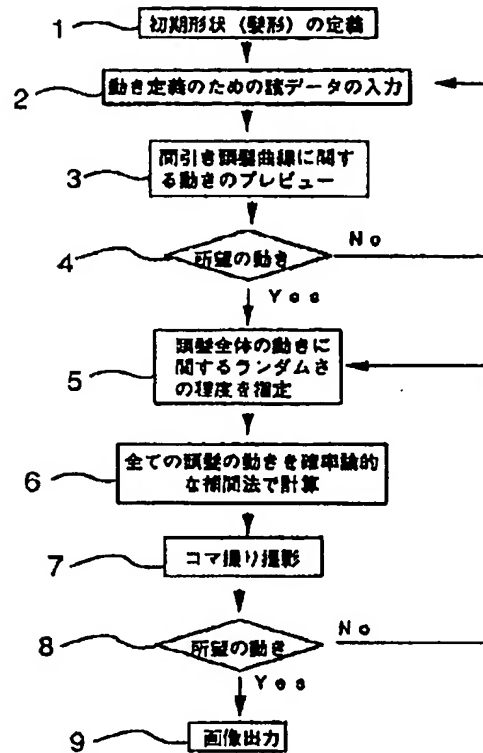
【図8】本発明の一実施例における外力場の $z-x$ 平面への投影の仕方を示す図である。

【符号の説明】

1…初期形状(髪形)の定義、2…動き定義のための諸データの入力、3…間引き頭髮曲線に関する動きのプレビュー、4…所望の動き、5…頭髮全体の動きに関するランダムさの程度を指定、6…全ての頭髮の動きを確率的な補間法で計算、7…コマ撮り撮影、8…所望の動き、9…画像出力。

【図1】

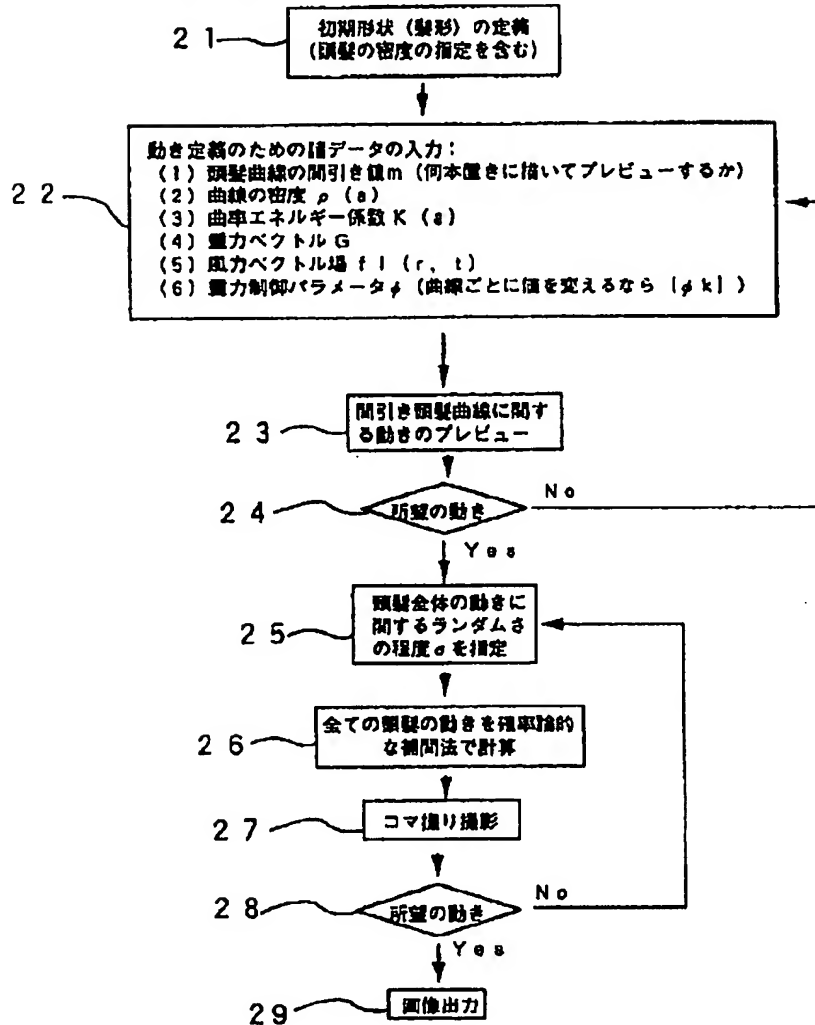
## 頭髮の動き作成手順の基本フロー（図1）





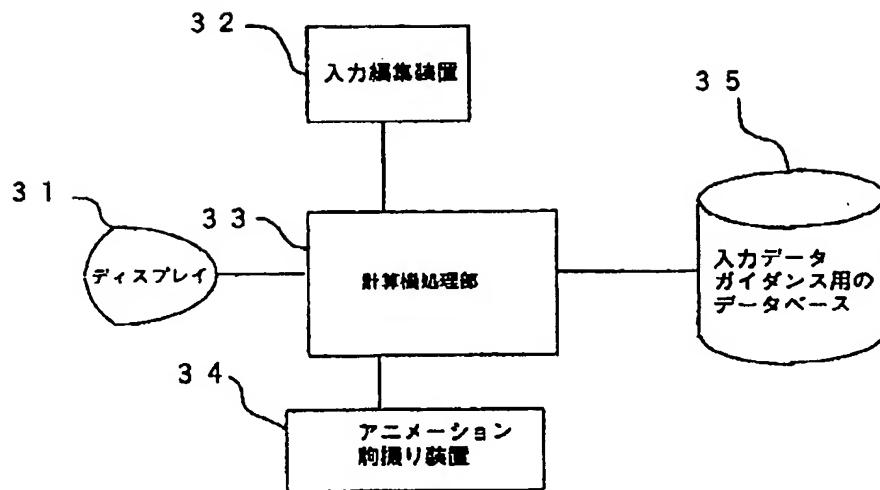
【図2】

## 頭髮の動き作成手順の概略フロー（図2）



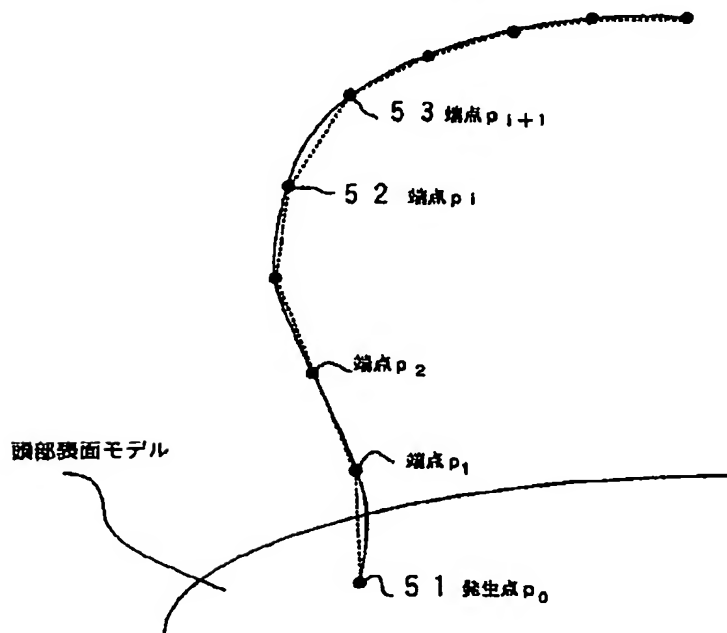
【図3】

システム構成例（図3）



【図5】

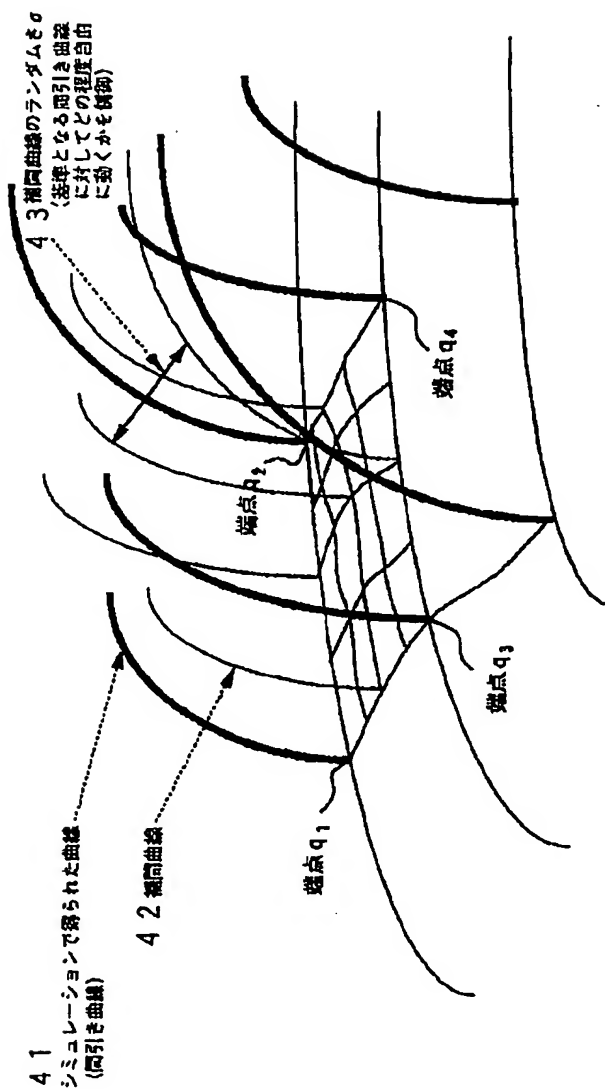
頭髮曲線の折れ線近似表現（図5）



(10)

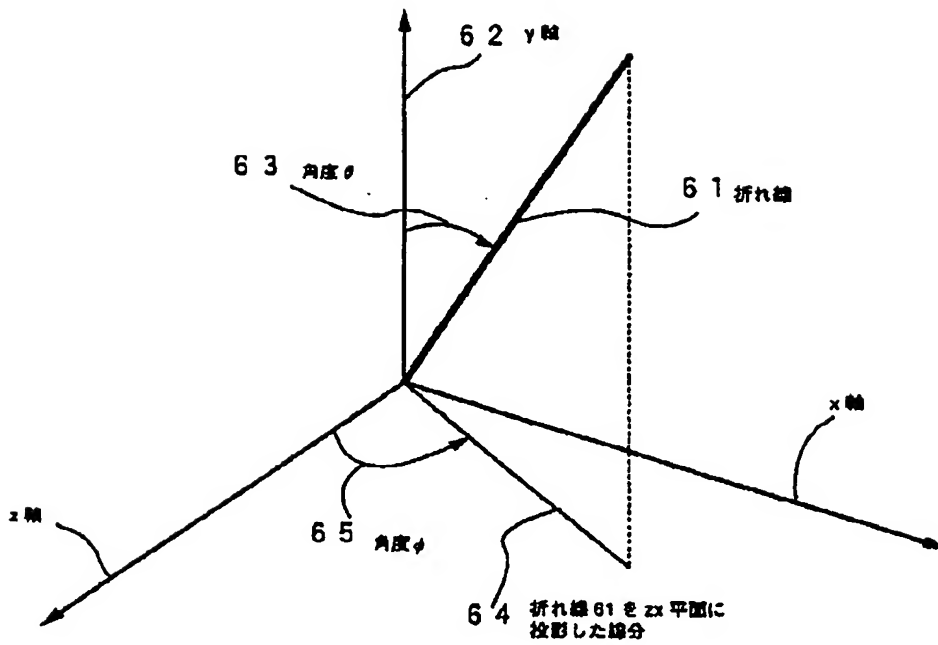
【図4】

補間曲線の与え方 (図4)

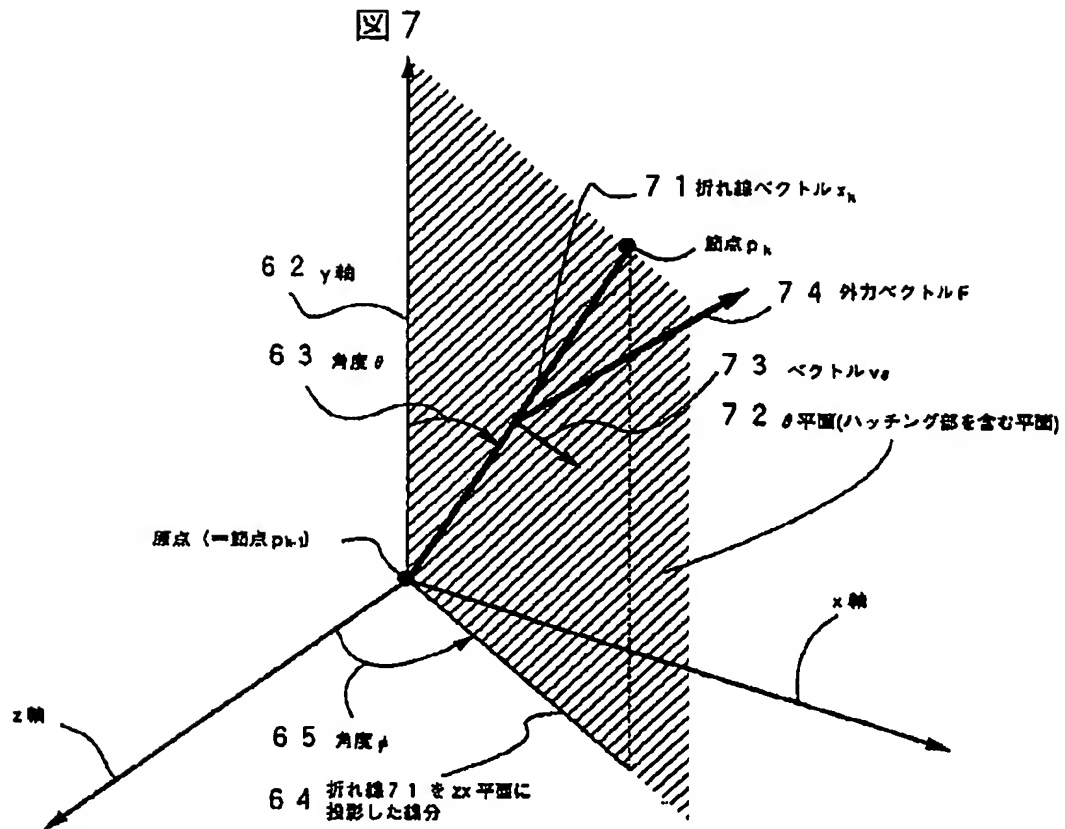


【図6】

図6



【図7】



〔図8〕

図8

